

## Rola smarowania w ograniczeniu hałasu towarzyszącego eksploatacji przekładni zębatych

*W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wpływu rodzaju i temperatury zastosowanego oleju na emisję hałasu emitowanego przez przekładnie zębate. W eksperymencie czynnym zostały określone poziomy ciśnienia akustycznego dla 4 rodzajów olei przekładniowych i dla trzech wartości temperatury. Na ich podstawie stwierdzono poprawę właściwości akustycznych przekładni zębatych smarowanych olejami o większej lepkości i o niższej temperaturze.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Obecne tendencje do konstruowania zespołów napędowych o mniejszych rozmiarach [3] powodują, że współczesne przekładnie są narażone na większe obciążenia cieplne i mechaniczne. Wysokie wymagania stawiane przekładniom sprawiają, że do ich wytworzenia używa się materiałów o zwiększonych wymaganiach eksploatacyjnych. Dotyczy to także płynów eksploatacyjnych, wśród których ogromną rolę odgrywają oleje [4]. Odpowiednia jakość oleju przekładniowego jest niezbędnym warunkiem sprawnego i długotrwałego działania zespołu. Obecnie producenci mechanizmów przeniesienia mocy traktują olej przekładniowy jako integralny element układu przeniesienia napędu.

Należy także nadmienić, że zwiększone nagrzewanie się oleju w czasie pracy przekładni jest istotnym problemem konstrukcyjnym i eksploatacyjnym [4,5]. Wzrost temperatury oleju smarującego, dla wielu przypadków, niekorzystnie wpływa na maszyny i urządzenia techniczne. Z jego wzrostem związane jest zmniejszenie się lepkości oleju, co istotnie wpływa na grubość filmu olejowego, a tym samym na pogorszenie właściwości zużyciowych. W przypadku znacznego wzrostu temperatury oleju istnieje również możliwość wystąpienia wycieków oleju spod uszczelnień, co może spowodować całkowite zniszczenie uzębienia.

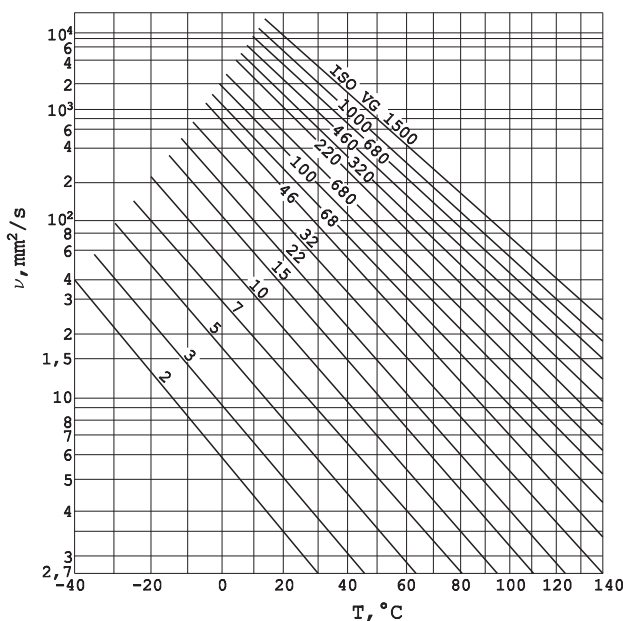
Zmniejszenie lepkości oleju na skutek wzrostu temperatury wiąże się także ze zmniejszeniem właściwości tłumiących filmu olejowego, co istotnie wpływa na własności wibroakustyczne urządzeń mechanicznych, w tym także przekładni zębatych [1,2].

### 2. CHARAKTERYSTYKA ŚRODKÓW SMARNYCH

---

Oczekiwany efekt smarowania jest zmniejszenie współczynnika tarcia oraz spowolnienie procesów zużycia współpracujących powierzchni skojarzenia trącego. Dodatkowo za pomocą smarowania polepsza się odprowadzenie ciepła tarcia, odprowadzenie zanieczyszczeń (głównie produktów zużycia) z obszarów styku, a także zmniejszenie obciążeń dynamicznych [4,5]. Współcześnie, jako oleje smarowe, są stosowane: oleje mineralne, oleje syntetyczne oraz emulsje olejowe.

Jednym z najistotniejszych parametrów charakteryzujących oleje przemysłowe jest lepkość, który to parametr charakteryzuje opory przepływu, jakie stawia płyn (ciecz lub gaz) podczas przemieszczania się. Lepkość określa wewnętrzne tarcie płynu i jest odpowiednikiem współczynnika tarcia, występującego w przypadku wzajemnego przemieszczania się ciał stałych. Rozróżnia się współczynnik lepkości dynamicznej i kinematycznej.



Rys. 1. Charakterystyka lepkości w funkcji temperatury [5]

Współczynnik lepkości dynamicznej oleju  $\eta$  wyznacza się z zależności:

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dy} \cong \frac{\tau}{\Delta v/h} \quad (1)$$

gdzie:

$\tau$  – naprężenie styczne pomiędzy przemieszczającymi się warstwami cieczy, Pa,

$v_1, v_2$  – prędkość liniowa powierzchni tarcia 1 i 2;  
 $\Delta v = v_1 - v_2, \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$h$  – odległość powierzchni wzdłuż współrzędnej  $y$  (o kierunku prostopadłym do wektora prędkości  $\Delta v$ ), m.

Współczynnik ten posiada wymiar:  $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s} = \text{Pa} \cdot \text{s}$ . Często w praktyce używana jest jednostka podwielokrotna:  $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$ .

Współczynnik lepkości kinematycznej można wyznaczyć z równania:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

gdzie:

$\nu$  – lepkość kinematyczna oleju,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$

$\eta$  – lepkość dynamiczna oleju,  $\text{N/m}^3$

$\rho$  – gęstość oleju.

Jednostką lepkości kinematycznej jest Stockes (St) =  $1 \text{ cm}^2/\text{s}$ , natomiast powszechnie używa się:  $10^{-2} \text{ St} = 1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

Lepkość jak i gęstość oleju w silnym stopniu zależą od temperatury. Przedstawione na rys. 1 zależności lepkości od temperatury są obrazem graficznym reguły Ubbelohde – Walthera przedstawionej w postaci [5]:

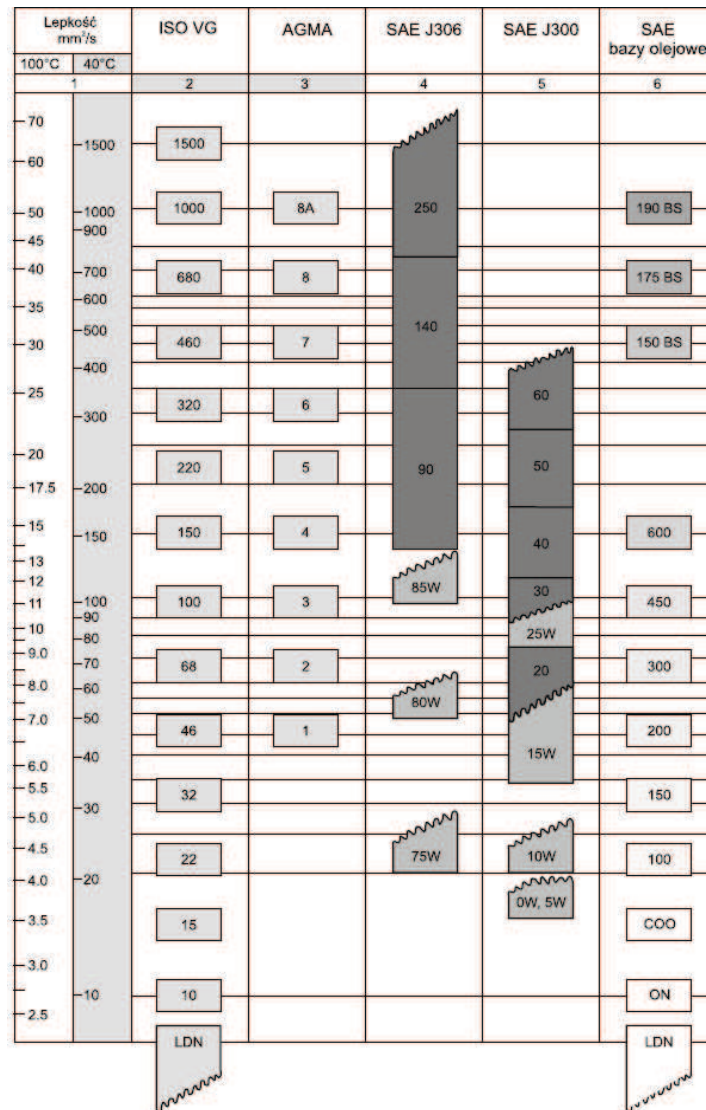
$$\log[\log(\nu + 0,8)] = K_1 - m \cdot \log T \quad (3)$$

gdzie:

$\nu$  – lepkość kinematyczna w temperaturze  $T$ , St,  
 $K_1, m$  – stałe zależne od rodzaju i struktury molekularnej oleju.

Niezależnie od podejmowanych działań pielęgnacyjnych, normalne eksploatacyjne nieuchronnie prowadzi do stopniowej degradacji i zanieczyszczenia oleju. Degradacja oleju jest to proces zmiany jego właściwości, zwłaszcza użytkowych, następujących w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury oraz tlenu z powietrza, w obecności katalitycznie oddziałujących metali oraz mechanicznych sił ścinających. Skutkiem degradacji oleju najczęściej jest: zmiana barwy, wzrost liczby kwasowej, powstawanie osadów i laków, wzrost zawartości cząstek stałych (zanieczyszczeń stałych), zmiana lepkości itp.

Powszechnie stosowaną klasyfikacją przemysłowych środków smarnych jest klasyfikacja lepkościowa wg ISO 3448. Definiuje ona 18 klas lepkościowych olejów przemysłowych, dla których przedziały lepkości kinematycznej są określone dla temperatury  $40^\circ\text{C}$ . Symbolem tej klasyfikacji jest akronim ISO VG (VG – *viscosity grade*), po którym następuje liczbowy symbol klasy. Klasyfikację tę przedstawiono na rys. 2, na którym także przedstawiono, dla porównania, inne powszechnie stosowane klasyfikacje lepkościowe.



Rys. 2. Najczęściej stosowane klasyfikacje olejów przemysłowych

Niezależnie od rodzaju, środkiem smarnym [5] są stawiane następujące podstawowe wymagania:

- powinny odznaczać się wymaganą smarnością,
- nie powinny reagować z materiałami konstrukcyjnym, z którymi się kontaktują w skojarzeniu trącym, lub reagować w sposób kontrolowany,
- powinny zachowywać swoje właściwości użytkowe, w możliwie długim okresie pracy,
- nie powinny ulegać degradacji w trakcie składowania,
- nie powinny wykazywać oddziaływań: toksycznych, mutagennych itp. oraz nie powinny zawierać składników niekorzystnie oddziałujących na środowisko naturalne,
- w warunkach użytkowania nie powinny stwarzać zagrożenia pożarowego,
- powinny zachowywać wymagane właściwości użytkowe w całym zakresie temperatur i ciśnień występujących w trakcie pracy skojarzenia trącego,
- ich utylizacja powinna być łatwa i mało kosztowna.

### 3. CEL I ZAKRES PRACY

Prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnych wartości hałasu w ostatnich czasach stale wzrasta z uwagi na istotny wzrost mocy silników instalowanych w napędach maszyn i urządzeń. Jednym z istotnych problemów przy projektowaniu przekładni zębatych jest dobór oleju, jednakże dobór jego ukierunkowany jest na maksymalizację czasu użytkowania tych urządzeń. Aspekt emisji wibroakustycznej związanej z zastosowaniem danego środka smarnego na stanowisku pracy najczęściej nie jest uwzględniany, co spowodowane jest m.in. brakiem opracowań w tym zakresie.

Fakt ten skłonił Autora do podjęcia badań doświadczalnych mających na celu określenie jakościowego wpływu rodzaju i temperatury powszechnie stosowanych olejów przemysłowych na emisję hałasu emitowanego przez przekładnie zębate.

Tabela 1

## Parametry badanych kół zębatach

PARAMETR	SYMBOL	ZĘBNIK	KOŁO
Liczba zębów	$z$	26	27
Moduł, mm	$m$	4	
Kąt przyporu, st.	$\alpha$	20	
Luz międzyzębny	$c$	$0,25 \cdot m$	
Szerokość uzębienia, mm	$b$	10	
Średnica podziałowa, mm	$d$	104,00	108,00
Średnica wierzchołków, mm	$d_a$	108,00	112,00
Średnica stóp, mm	$d_f$	94,00	98,00
Promień zaokrąglenia stopy zęba	$\rho$	0,380·m	
Klasa dokładności wykonania	-	7	
Rodzaj obróbki powierzchni zębów	-	nawęglanie	

Tabela 2

## Zestawienie właściwości badanych olejów [9]

Własności	Jednostka	Norma	RENOLIN CLP 220	RENOLIN CLP 320	POWERGEAR	POWERGEAR 460
Gęstość w 15°C	g/cm <sup>3</sup>	PN-EN ISO 12185	0,8957	0,9016	0,897	0,902
Lepkość kinematyczna w 40°C	mm <sup>2</sup> /s	PN-EN ISO 3104	205,00	339,40	387,03	465,67
Lepkość kinematyczna w 100°C	mm <sup>2</sup> /s	PN-EN ISO 3104	17,300	24,310	-	-

## 4. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ

Badania eksperymentalne, mające na celu określenie wpływu rodzaju uzębienia kół zębatach na poziom mocy akustycznej, przeprowadzono na stanowisku badawczym pracującym w układzie mocy zamkniętej [7].

Do pomiaru poziomu głośności zastosowano sonometr typu 2236 firmy Bruel&Kjaer. Umożliwił on pomiar poziomu głośności z dokładnością  $\pm 0,1$  dB. Określenie poziomu ciśnienia akustycznego odbywało się zgodnie z Normą PN-EN ISO 11204 „Akustyka – Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach metodą wymagającą poprawek środowiskowych” [8].

W tabeli 1 zestawiono parametry badanych kół zębatach.

Do smarowania kół zębatach użyto 4 olejów firmy FUCHS: Renolin CLP 220, Renolin CLP 320 oraz Powergear i Powergear M460. Są to oleje przekładniowe stosowane w szczególności w przemyśle wydobywczym przy smarowaniu wysoko obciążonych przekładni zębatach.

W tabeli 2 zestawiono zmierzone parametry charakterystyczne badanych olejów.

## 5. WYNIKI BADAŃ

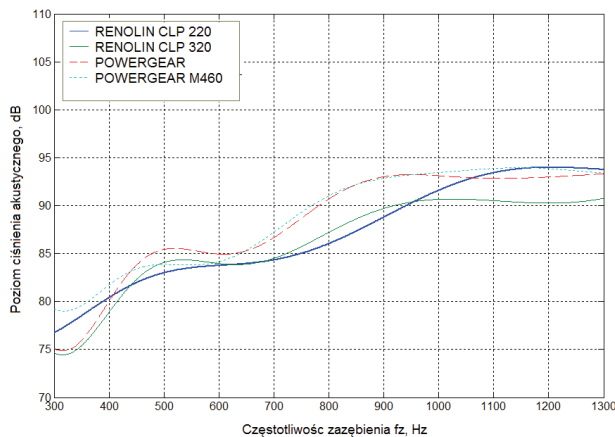
W ramach eksperymentu czynnego pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego dokonano dla:

- 4 olejów: Renolin CLP 220, Renolin CLP 320, Powergear oraz Powergear M460,
- 3 temperatur oleju smarującego 30°C, 40°C, 50°C,
- 3 wartości momentu statycznego obciążającego przekładni: 10 Nm, 30 Nm, 50 Nm.

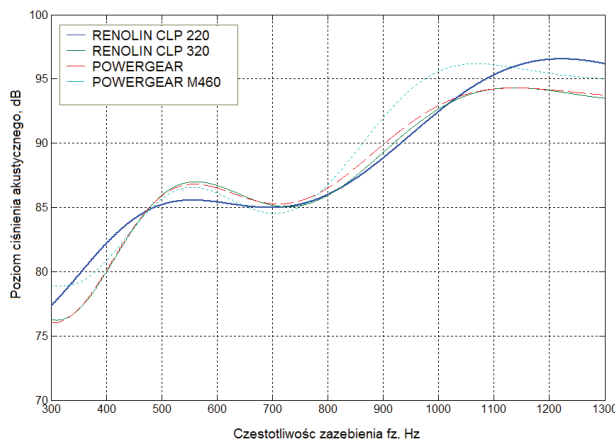
Na rys. 3 przedstawiono przebiegi poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości ząbienia, w zależności od rodzaju zastosowanego oleju uzyskane dla momentu skręcającego  $M_s=10$  Nm obciążającego badane koła zębata. Można na nim zauważyć, że podczas pracy przekładni przy częstotliwości ząbienia powyżej 1050 Hz i poniżej 750 Hz smarowanych olejem Renolin CLP 220 doszło do znacznego przyrostu poziomu emitowanego hałasu w porównaniu z pozostałymi olejami. Najniższymi wartościami poziomu ciśnienia akustycznego wykazały się koła smarowane olejem Renolin CLP 320. Natomiast w przypadku olejów o najwyższej lepkości, tj. Powergear i Powergear M460 nie zauważono zmniejszenia emisji hałasu w stosunku do olejów o mniejszej lepkości.

Na rys. 4 zostały przedstawione przebiegi poziomu ciśnienia akustycznego uzyskane dla badanych olejów przy obciążeniu  $M_s=30$  Nm. Można na nim zaobserwować jak na rys. 3 najwyższe wartości poziomu dźwięku dla oleju Renolin CLP 220 (poza zakresem częstotliwości zazębienia 500÷700 Hz). Oleje o wyższej lepkości od wspomnianego wyżej, tj. Renolin CLP 320 i Powergear M460 wykazały się lepszymi od niego właściwościami akustycznymi. Jak widać także na tym rysunku, przebiegi poziomu dźwięku obu olei były bardzo zbliżone. Olej Powergear wykazał się właściwościami akustycznymi pośrednimi w stosunku do poprzednio wymienionych olejów.

Na rysunku 5, na którym zamieszczono przebiegi poziomu ciśnienia akustycznego uzyskane dla badanych olejów przy obciążeniu  $M_s=50$  Nm, można zauważyć wyraźnie zmniejszenie hałasu związane ze stosowaniem olejów o wyższej lepkości, tj.



Rys. 3. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego przekładni przy obciążeniu  $M_s=10$  Nm w funkcji częstotliwości zazębienia i rodzaju badanego oleju

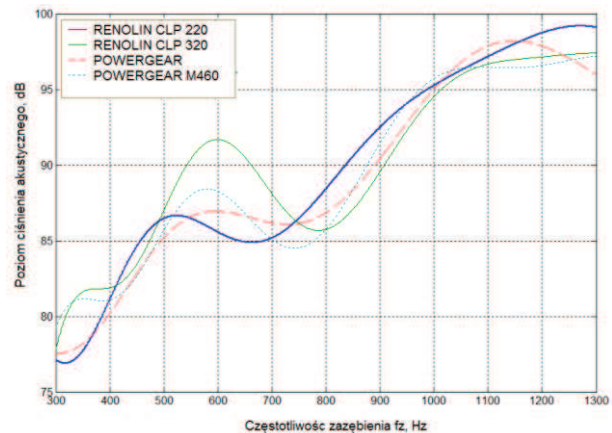


Rys. 4. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego przekładni przy obciążeniu  $M_s=30$  Nm w funkcji częstotliwości zazębienia i rodzaju badanego oleju

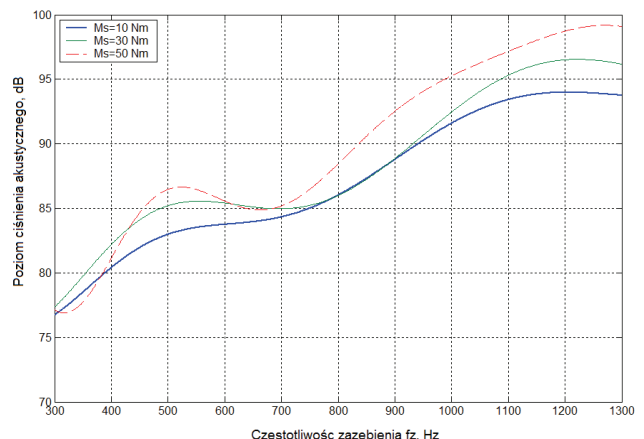
Powergear i Powergear M460.

Zależność przebiegu poziomu ciśnienia akustycznego od obciążenia zilustrowano na rysunku 6 na przykładzie oleju Renolin CLP 220. Na rysunku tym łatwo można zauważyć, że wraz ze wzrostem obciążenia przekładni zwiększa się wartość poziomu ciśnienia akustycznego. Najmniejsze wartości hałasu zanotowano dla przekładni pracującej przy obciążeniu  $M_s=10$  Nm, a największe dla  $M_s=50$  Nm. Identyczną zależność uzyskano także dla pozostałych badanych olejów.

Wyraźną zależność polegającą na wzroście poziomu ciśnienia akustycznego wraz ze wzrostem temperatury badanego oleju można zauważyć na rysunkach 7 i 8, na których zilustrowano wyniki uzyskane dla olejów Renolin CLP 220 i Powergear M460 pracujących pod obciążeniem  $M_s=30$  Nm. W tym przypadku także zauważono opisaną zależność dla pozostałych badanych olejów.

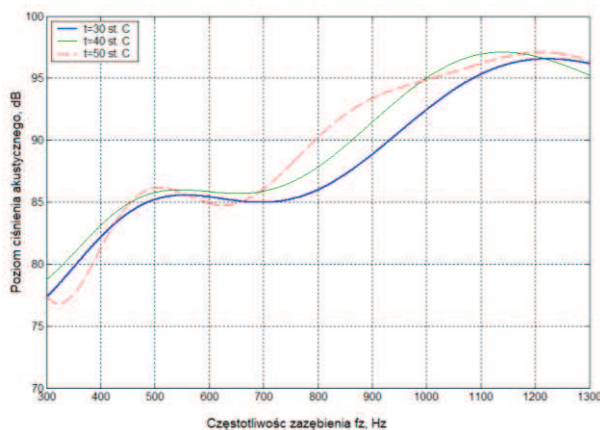


Rys. 5. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego przekładni przy obciążeniu  $M_s=50$  Nm w funkcji częstotliwości zazębienia i rodzaju badanego oleju

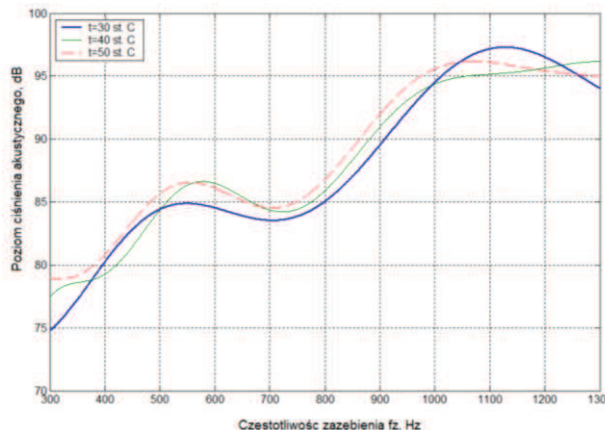


Rys. 6. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego przekładni smarowanej olejem Renolin CLP 220 w funkcji częstotliwości zazębienia i obciążenia





Rys. 7. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zazębienia przekładni smarowanej olejem Renolin CLP 220 przy obciążeniu  $M_s=30$  Nm dla badanych temperatur oleju



Rys. 8. Przebiegi wartości poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zazębienia przekładni smarowanej olejem Powergear M460 przy obciążeniu  $M_s=30$  Nm dla badanych temperatur oleju

## 6. WNIOSKI

Prawidłowe smarowanie przekładni zębatach dużej mocy jest niezmiernie istotne ze względu na zapewnienie zakładanej trwałości. Zbyt mała ilość środka smarnego lub jego brak, zanieczyszczenie, a także niewłaściwy dobór mogą spowodować trwałe uszkodzenia elementów przekładni. Olej smarujący ma także zasadniczy wpływ na stan termiczny przekładni.

W niniejszej pracy dokonano oceny wpływu rodzaju i temperatury oleju, a także takich czynników eksploatacyjnych jak prędkość obrotowa (w pracy rozpatrywano parametr powiązany z prędkością obrotową i geometrią kół – częstotliwość zazębienia) oraz obciążenie. Należy w tym miejscu dodać, że badane oleje należały do grupy olejów przekładniowych o stosunkowo dużej lepkości, dlatego też uzyskane wyniki były dosyć zbliżone.

Na podstawie uzyskanych wyników można jednak sformułować następujące spostrzeżenia:

- wpływ lepkości wpływa na mierzoną wartość poziomu ciśnienia akustycznego, trudno jednak stwierdzić jednoznacznie zależność,
- zwiększenie lepkości wpływało szczególnie korzystnie na własności akustyczne przy pracy przekładni dla wyższych wartości częstotliwości zazębienia i obciążenia,
- wzrost poziomu ciśnienia akustycznego związany ze zwiększeniem temperatury oleju (mierzone różnice dochodziły nawet do 5 dB),
- zwiększeniu obciążenia przenoszonego przez przekładnię towarzyszy wzrost mierzonych wartości poziomu ciśnienia akustycznego.

Przedstawione wyniki i wnioski pozwalają przedstawić następujące zalecenia dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo pracy:

- należy kontrolować poziom hałasu dla każdej zmiany oleju smarującego przekładnię (najlepiej by był zgodny z zaleceniami producenta),
- dokonywać określenia zagrożenia hałasem przy temperaturze oleju występującej najczęściej przy eksploatacji przekładni.
- powinno wykluczyć się stosowanie oleju należącego do innej grupy olejów (np. hydraulicznych lub ogólnego przeznaczenia) o lepkości znacznie różniącej się od zalecanego oleju.

### Literatura

1. Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN Warszawa, 2001.
2. Puzyna Cz.: Hałas w przemyśle, Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa, 1979.
3. Antoniak J.: Tendencje rozwojowe w budowie napędów przenośników zgrzeblowych o dużej wydajności transportowej. Projekt celowy 7T07C-036-96-C/2999-Zad.1.1. Politechnika Śląska, Instytut Mechanizacji Górnictwa, Gliwice 1998 (praca niepublikowana).
4. Spalek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003.
5. Skoć A., Spalek J., Markusik S.: Podstawy Konstrukcji Maszyn. T.2. WNT, Warszawa 2008.
6. Nadolski K.: Tribologia kół zębatach. Zagadnienia trwałości i niezawodności. Biblioteka Problemów Eksploatacji. Poznań, 1999.
7. Wieczorek A.: Wpływ wysokości użębienia na międzyzębne siły dynamiczne w przekładniach. Praca doktorska, Gliwice 2007.
8. Norma PN-EN ISO 11204 Akustyka – Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach metodą wymagającą poprawek środowiskowych.
9. Badania olejów przekładniowych wykonane przez laboratorium firmy FUCHS (materiały niepublikowane).

Recenzent: prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński